

**DAMPAK HIDROKARBON AROMATIK TERHADAP EKOSISTEM MANGROVE
DI KAWASAN BINALATUNG KOTA TARAKAN KALIMANTAN UTARA**
(*Impact of Aromatic Hydrocarbon on Mangrove Ecosystem in Binalatung Area Tarakan City
North Kalimantan*)

**Dori Rachmawani^{1*}, Fredinan Yulianda², Cecep Kusmana³, Mennofatria Boer⁴
dan Ety Parwati⁴**

¹Program Pascasarjana Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Lautan, Institut Pertanian Bogor,
Jl. Lingkar Akademik, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680.

²Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan,
Institut Pertanian Bogor, Jl. Lingkar Akademik, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680.

³Departemen Silvikultur Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor,
Jl. Lingkar Akademik, Kampus IPB Darmaga Bogor 16680.

⁴Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), Jl. Pasar Rebo Jakarta 13710.

*Penulis korespondensi. Tel: 081233917887. Email: dorirachmawani@gmail.com.

Diterima: 23 Desember 2015

Disetujui: 4 Maret 2016

Abstrak

Kontaminan yang disebabkan oleh hidrokarbon aromatik pada lingkungan mangrove menjadi perhatian serius, karena dampak yang ditimbulkan dapat berakibat berkurangnya fungsi sistem ekologi mangrove secara menyeluruh. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis dan dampak hidrokarbon aromatik terhadap ekosistem mangrove. Penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus 2014 hingga bulan Februari 2015. Hasil penelitian menunjukkan bahwa senyawa hidrokarbon aromatik terdiri atas; stirena 2,4,6-trimetil, xilena, stirena, fenantrena dan naftalena 2-benzil. Dampak yang ditimbulkan berupa terjadinya kematian massal terhadap mangrove. Alternatif penanganan kandungan hidrokarbon aromatik pada mangrove adalah dengan metode fitoremediasi.

Kata kunci: Binalatung, dieback, fitoremediasi, hidrokarbon aromatik, mangrove.

Abstract

Contaminants of aromatic hydrocarbon on mangrove zone has been a concern seriously, due to the impacts will reduce the overall ecological function of mangrove. The study aims to know kinds and impact of aromatic hydrocarbons of mangrove ecosystem. The study was conducted from August 2014 to February 2015. The results showed that aromatic hydrocarbon compounds consist of; styrene 2,4,6-trimethyl, xylene, styrene, phenantrena dan naftalena 2-benzyl. The impact is dieback of mangrove. Alternative handling aromatic hydrocarbons of mangroves is phytoremediation method.

Keywords: Aromatic hydrocarbons, dieback, phytoremediation, mangrove, Binalatung.

PENDAHULUAN

Kematian massal ekosistem mangrove di Binalatung Kota Tarakan diindikasikan oleh faktor sedimentasi dan polutan organik (Rachmawani dkk., 2010). Selanjutnya dinyatakan pula bahwa kondisi ekosistem mangrove Binalatung, menunjukkan nilai persentaseutupan sekitar 50 % dengan jumlah kerapatan 535 pohon/ha atau berada pada kategori kondisi rusak parah. Sedimentasi adalah proses terangkutnya sedimen/partikel oleh suatu limpasan air yang diendapkan pada suatu tempat yang kecepatan airnya melambat atau terhenti seperti pada saluran sungai, waduk, danau,

maupun kawasan tepi teluk/laut (Arsyad. 1989). Proses sedimentasi/pengendapan dan tergerusnya garis pantai merupakan proses alami yang dapat terjadi di semua pantai. Selanjutnya pengendapan tersebut akan mengganggu sistem respirasi tumbuhan mangrove, yang mana akar napas pada mangrove menjadi terhalang oleh sedimen/partikel. Apabila proses pencucian tidak terjadi, maka suplai oksigen bagi tumbuhan akan terhambat akibat tertutupnya akar nafas dan berdampak terganggunya pertumbuhan mangrove tersebut yang akhirnya dapat menyebabkan kematian. Kondisi ini terjadi, karena tumbuhan mangrove merupakan tumbuhan yang hidup pada substrat anaerob, sehingga kebutuhan akan oksigen sangat

bergantung pada oksigen terlarut dalam air dan oksigen dari udara.

Indikasi kematian massal akibat sedimentasi tersebut, disinyalir bukanlah faktor tunggal, tetapi terdapat faktor lain yang diindikasikan menjadi penyebab terjadinya kematian massal mangrove yang ada di kawasan Binalatung. Faktor tersebut adalah terkontaminasinya sedimen dan akar mangrove oleh polutan organik yang bersumber dari minyak. Mastaller (1996) menegaskan bahwa polusi minyak dari eksplorasi minyak dan gas bumi, produksi petroleum dapat mengakibatkan kerusakan mangrove yang fatal. Minyak mentah alami dan deposit batubara mengandung sejumlah besar hidrokarbon minyak, yang timbul dari konversi kimia dari molekul, seperti steroid (McGrath dkk., 2007). Senyawa hidrokarbon aromatik adalah senyawa yang memiliki cincin benzen dengan 6 atom karbon dan 1 atom hidrogen pada setiap karbon. Keadaan ini menyebabkan satu elektron tersisa untuk membentuk ikatan ganda (Opune dkk., 2007). Senyawa ini banyak terdapat di alam sebagai polutan hasil pembakaran bahan-bahan organik, baik dalam bentuk partikel padat ataupun gas. Selanjutnya dinyatakan pula bahwa senyawa hidrokarbon aromatik diketahui bersifat toksik dan karsinogen. Hidrokarbon aromatik di lingkungan terutama ditemukan di dalam tanah, sedimen dan zat berminyak.

Kota Tarakan termasuk kawasan Binalatung merupakan kawasan penghasil minyak bumi dan batubara hingga saat ini. Indikasi kematian massal mangrove akibat terkontaminasi hidrokarbon aromatik menjadi sangat mungkin terjadi. Data potensi cadangan minyak bumi Kota Tarakan adalah 451,177 juta barrel dengan tingkat produksi sebesar 2100 barrel per hari, sedangkan cadangan batubara mencapai 100 juta ton (Anonim, 2010⁹). Potensi yang melimpah dan kegiatan produksi yang masif akan menimbulkan dampak terhadap lingkungan sekitarnya termasuk ekosistem mangrove. Dampak tersebut dapat bersumber dari tumpahan minyak sewaktu pemboran ataupun terbukanya singkapan batubara yang dapat terkerus/terbawa hujan masuk ke perairan. Menurut Connel dan Miller (1995) bahwa minyak mentah mengandung senyawa hidrokarbon sekitar 50-98% dan selebihnya senyawa non-hidrokarbon (sulfur, nitrogen, oksigen, dan beberapa logam berat). Potensi minyak bumi yang tinggi tersebut menjadi salah satu sumber senyawa hidrokarbon aromatik yang terdapat pada kawasan mangrove. Jenis dan kandungan senyawa hidrokarbon aromatik tersebut dalam konsentrasi yang cukup tinggi dapat menyebabkan terjadinya kematian massal pada mangrove. Dengan demikian, dibutuhkan suatu alternatif penanganan senyawa hidrokarbon

aromatik yang diharapkan dapat mengurangi konsentrasi senyawa yang bersifat karsinogenik pada mangrove.

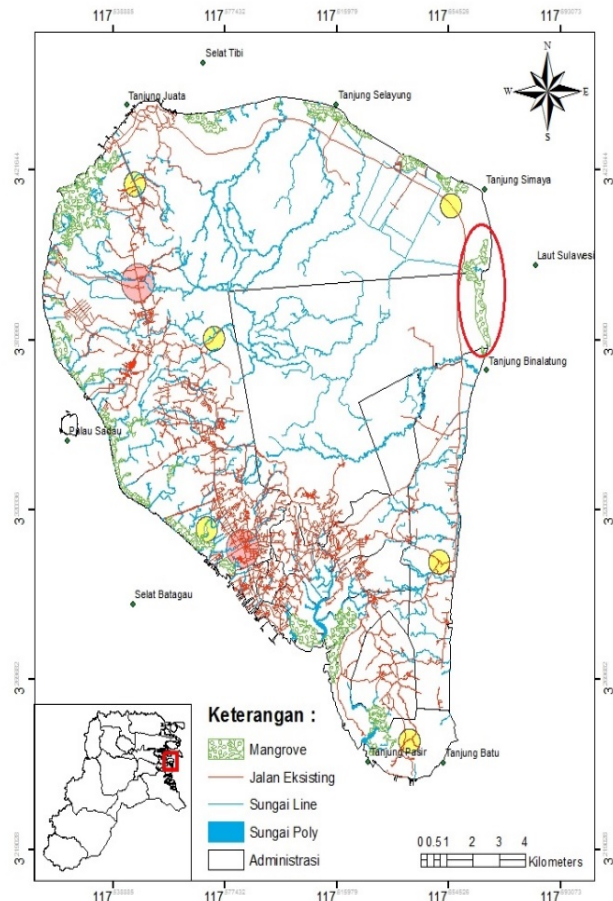
METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi

Penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus 2014 hingga Februari 2015 di kawasan Binalatung Kota Tarakan (Gambar 1). Penelitian dimulai dari pengambilan sampai dengan ekstraksi sampel di Laboratorium Lingkungan FPIK Universitas Borneo Tarakan dan injeksi ekstrak sampel di Laboratorium Forensik Mabes POLRI Jakarta.

Metode Pengambilan Sampel

Metode pengambilan sampel dilakukan dalam 2 tahap yakni; sampel sedimen mangrove diambil dengan menggunakan bor tanah pada kedalaman 30 dan 60 cm, selanjutnya dilakukan pengambilan sampel akar mangrove yang diambil dari pohon mangrove yang telah mati, kemudian disimpan dalam kotak pendingin. Sampel sedimen dan akar mangrove selanjutnya dibawa ke laboratorium. Sampel disimpan dalam lemari pendingin bersuhu -20 °C.



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel sedimen dan akar mangrove.

Analisis Hidrokarbon Aromatik

Analisis sampel dilakukan dengan metode soxhlet (Yu dkk., 2007; Achyani. 2011). Sampel sedimen dan akar sebanyak 40 g berat kering diekstraksi dengan soxhlate dengan pelarut hexan/aseton (1:1), kemudian dibilas dengan diklorometan/hexan (3:7), dan analisis jenis hidrokarbon aromatik dilakukan dengan menggunakan GC-MS (*Gas Cromatografy Mass Spectrometry*) Agilent Technologies, Inc. Metode GCMS merupakan metode pemisahan senyawa organik yang menggunakan 2 metode analisis senyawa yakni kromatografi gas (GC) untuk menganalisis jumlah senyawa secara kuantitatif dan spektrometri massa (MS) untuk menganalisis struktur molekul senyawa analit. Spesifikasi alat yang digunakan GC Agilent 7890A/5975C MDS, injeksi manual, diatur pada suhu 40 °C selama 1 menit dinaikkan 6 °C/menit kemudian 300 °C dipertahankan selama 20 menit, spesifikasi kolom agilent 19091S-433HP-5 ms 5 % *Phenyl Methyl Silox* (60 m x 250 µm x 0,25 µm), dan inlet *splitless* 300 °C 16.086 psi *purge flow* 50 mL/min selama 2 menit. Dalam mengidentifikasi jenis dan nama hidrokarbon aromatik digunakan Nist dan Wiley11 pada sistem internal GCMS. Pendugaan konsentrasi dari senyawa yang terdeteksi dalam sampel sedimen dan akar didasarkan pada standar internal konsentrasi. Formula pendugaan konsentrasi menurut Dsikowitzky dkk., (2011) sebagai berikut:

$$\phi_{st} = \frac{\theta_{st} \times \phi_s}{\theta_s} \quad (1)$$

Di mana:

ϕ_{st} = konsentrasi senyawa teridentifikasi

θ_{st} = area puncak senyawa teridentifikasi

ϕ_s = konsentrasasi internal standar yang pada sampel

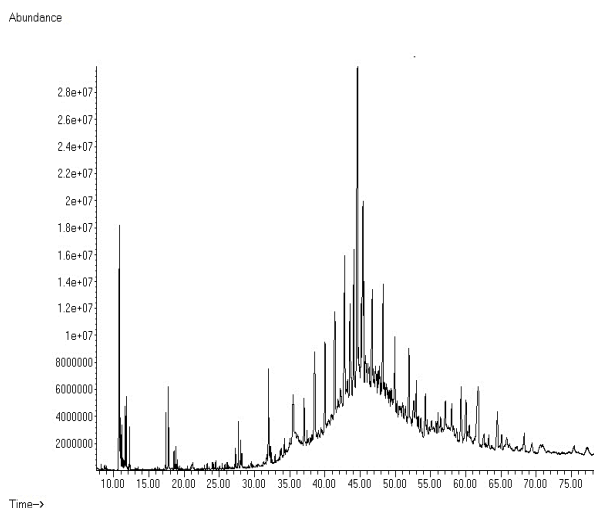
θ_s = area puncak internal standar

HASIL DAN PEMBAHASAN

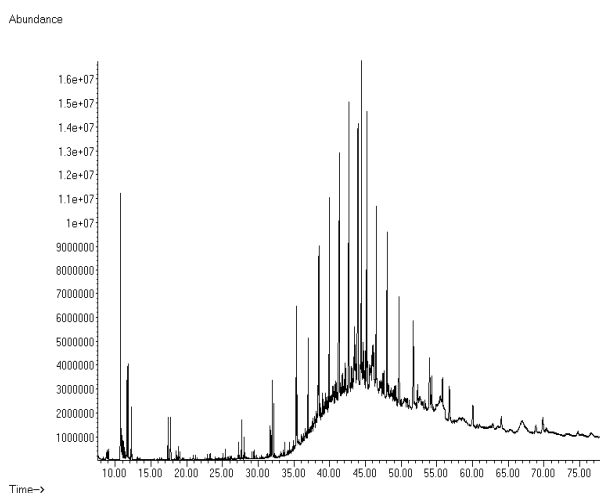
Kandungan Senyawa Hidrokarbon Aromatik

Hidrokarbon aromatik adalah senyawa organik yang tersebar luas di alam, bentuknya terdiri dari beberapa rantai siklik aromatik dan bersifat hidrofobik (Witt. 1995). Hidrokarbon merupakan salah satu kontaminan yang penting, dalam arti jumlah dan dampak buruk bagi manusia dan lingkungannya. Minyak dan turunannya merupakan salah satu contoh dari hidrokarbon yang banyak digunakan manusia, dan sangat potensial mencemari lingkungan. Menurut Hoff dkk., (2002) bahwa polutan minyak dapat berdampak negatif terhadap mangrove melalui 2 mekanisme yakni dari

efek fisik dan efek toksikologi. Secara toksikologi berupa hidrokarbon aromatik yang merusak dan bahkan mematikan mangrove melalui sedimen dan akar. Kondisi tersebut dapat mengganggu pengendalian garam-garam sehingga mengganggu pertukarannya pada akar dan daun. Keberadaannya dalam tanah/sedimen meningkatkan insiden mutasi mangrove, dimana klorofil menjadi menurun dan bahkan hilang. Untuk mengetahui kandungan hidrokarbon aromatik pada ekosistem mangrove Binalatung maka dilakukan analisis kandungannya pada sedimen dan akar menggunakan GCMS dan secara grafis hasil tersebut ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3. Menurut Neff (1979) terdapat beberapa senyawa PAH yang perlu diperhatikan, antara lain naftalin ($C_{10}H_8$), acenaphthylene ($C_{12}H_8$), acenaphthene ($C_{12}H_{10}$), flourene ($C_{13}H_{10}$), fenantrena ($C_{14}H_{10}$), antrasen ($C_{14}H_{10}$), flouranthene ($C_{16}H_{10}$), pyrene ($C_{16}H_{10}$), benzo ($C_{18}H_{12}$), chrysene ($C_{18}H_{12}$), dibenzo ($C_{22}H_{14}$), dan indenol ($C_{22}H_{12}$).



Gambar 2. Hasil analisis GCMS pada sedimen mangrove.



Gambar 3. Hasil analisis GCMS pada akar mangrove.

Tabel 1. Kandungan senyawa dalam sedimen dan akar pohon mangrove.

No	Sampel	Senyawa	Waktu rekam	Berat molekul	Struktur molekul
Stasiun 1	Sedimen 30 cm	stirena 2,4,6-trimetil	18,54	146,11	C ₁₁ H ₁₄
	Sedimen 60 cm	m-xilena	11,34	106,08	C ₈ H ₁₀
	Akar	m-xilena	11,34	106,08	C ₈ H ₁₀
		o-xilena	11,34	106,08	C ₈ H ₁₀
		p-xilena	11,34	106,08	C ₈ H ₁₀
Stasiun 2	Sedimen 30 cm	stirena 2,4,6-trimetil	18,54	146,11	C ₁₄ H ₁₄
	Sedimen 60 cm	Stirena	12,03	104,06	C ₈ H ₈
	Akar	Stirena	12,03	104,06	C ₈ H ₈
		stirena 2,4,6-trimetil	18,54	146,11	C ₁₁ H ₁₄
		fenantrena	29,69	178,08	C ₁₁ H ₁₄
		naftalena 2-benzil	45,49	218,19	C ₁₇ H ₁₄

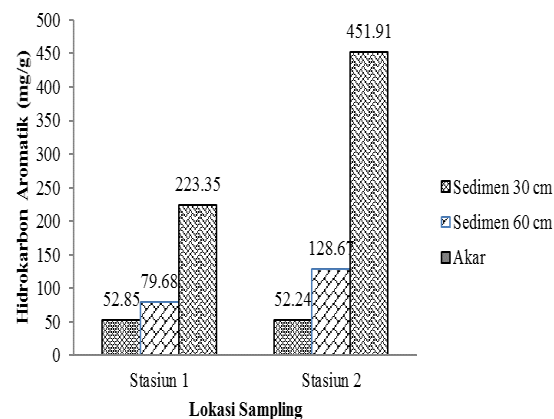
Sumber : Data primer, 2016.

Hasil analisis GCMS pada sampel sedimen (Gambar 2) dan akar mangrove (Gambar 3) menunjukkan adanya senyawa hidrokarbon aromatik yang diduga memiliki sifat yang berbahaya dan tahan lama, diantaranya xilena, stirena, fenantrena, stirena 2,4,6-trimetil, dan naftalena 2-benzil (Tabel 1).

Menurut Qiu. (2009) bahwa senyawa-senyawa seperti benzena, stirena dan fenantrena termasuk dalam kelompok hidrokarbon aromatik. Indawan dkk., (2012) mengungkapkan senyawa dari kelompok BTEX (benzene, toluene, etilbenzena, xilena) diindikasikan menjadi salah satu penyebab degradasi ekosistem mangrove dan senyawa BTEX termasuk dalam hidrokarbon aromatik. Senyawa hidrokarbon aromatik masuk kedalam senyawa yang mempunyai potensi karsinogenik dan sering dijadikan sebagai kriteria dalam program pembersihan tanah atau air yang tercemar (Anonim, 1993). Senyawa PAH dapat memiliki beberapa cincin aromatik mulai dari 4, 5, 6, ataupun 7 cincin, tetapi yang paling banyak dengan 5 atau 6 cincin. PAHs dengan 6 cincin aromatik disebut alternant PAH. Alternant PAH tertentu disebut "benzoid" PAH, nama ini berasal dari benzena yang merupakan hidrokarbon aromatik dengan 6 cincin. Senyawa PAH berasal dari 3 proses, yaitu pirolisis, petrogenik, dan diagenetik. PAH dengan 3 cincin dihasilkan oleh proses petrogenik, sedangkan PAH dengan 4, 5 dan 6 cincin dihasilkan oleh proses pirolisis (Muri dan Wakeham. 2009).

Dampak Hidrokarbon Aromatik

Konsentrasi PAH di lingkungan perairan sangat dipengaruhi oleh tingkat solubilitas dan keberadaan gugus non-polar yang bersifat hidrofobik. Solubilitas PAH cenderung rendah, sehingga PAH cenderung berikatan dengan partikel organik dan anorganik dibandingkan berada dalam bentuk terlarut. Ikatan PAH dengan partikel mengakibatkan terjadi proses koagulasi, berat partikel makin bertambah dan kemudian jatuh ke



Gambar 4. Konsentrasi hidrokarbon aromatik (mg/g) pada sedimen dan akar.

sedimen. Semakin besar ukuran partikel maka makin banyak pula PAH yang berasosiasi dan makin tinggi konsentrasi PAH. Hal tersebut mengakibatkan konsentrasi PAH di sedimen lebih besar dibandingkan PAH di kolam air. PAH bersifat toksik dengan kadar yang relatif tinggi ditemukan oleh beberapa peneliti dalam sedimen yang lokasinya berdekatan dengan perkotaan (Mohammed dkk., 2009). Hasil analisis GCMS untuk konsentrasi senyawa hidrokarbon aromatik pada sampel sedimen disajikan pada Gambar 4.

Hasil analisis pada Gambar 4, menunjukkan konsentrasi senyawa hidrokarbon aromatik di stasiun 1 pada sampel sedimen kedalaman 30 cm sebesar 52,85 mg/g dan kedalaman 60 cm sebesar 79,68 mg/g, dan stasiun 2 kedalaman 30 cm sebesar 52,24 mg/g dan kedalaman 60 cm sebesar 128,67 mg/g. Hal tersebut menunjukkan bahwa perbedaan kedalaman sedimen dan perbedaan lokasi sampling berpengaruh terhadap konsentrasi senyawa hidrokarbon aromatik. Kondisi tersebut dapat disebabkan oleh perbedaan partikel sedimen (ukuran partikel) pada kedua kedalaman sampel. Menurut Amin. (2002) bahwa terdapat hubungan antara ukuran partikel sedimen dengan kandungan

bahan organik. Pada sedimen yang halus, persentase bahan organik lebih tinggi dari pada sedimen yang kasar. Hal ini berhubungan dengan kondisi lingkungan yang tenang, sehingga memungkinkan pengendapan sedimen lumpur yang diikuti oleh akumulasi bahan organik ke dasar perairan. Pada sedimen yang kasar, kandungan bahan organiknya lebih rendah karena partikel yang lebih halus tidak mengendap. Demikian pula dengan bahan pencemar, kandungan bahan pencemar yang tinggi biasanya terdapat pada partikel sedimen yang halus.

Menurut Hardjowigeno (1992) tekstur tanah menunjukkan kasar halusnya tanah. Tekstur tanah merupakan perbandingan antara butir-butir pasir, debu dan liat. Tekstur tanah dikelompokkan dalam 12 kelas tekstur. Hasil analisis tekstur diperoleh bahwa sedimen pada kedalaman 30 cm bertekstur lempung liat berdebu dan lempung berliat, sedangkan sedimen pada kedalaman 60 cm bertekstur lempung. Dengan demikian tampak bahwa sedimen pada kedalaman 60 cm memiliki tekstur yang lebih halus bila dibandingkan dengan sedimen pada kedalaman 30 cm. Li dkk., (2014) menyatakan ukuran partikel dari sedimen sangat penting dalam mempengaruhi konsentrasi dari PAH dalam sedimen. Ahrens dan Depree (2004) melaporkan bahwa densitas partikel yang rendah mengandung 10-200 dan 22-23 kali (Gosh dkk., 2003) memiliki konsentarsi PAH dan PCB yang tinggi sehingga dapat disimpulkan bahwa polutan yang besar dengan konsentrasi yang tinggi ditemukan pada partikel sedimen yang kecil/halus, hal ini disebabkan karena partikel yang kecil/halus memiliki densitas yang rendah (Zao dkk., 2010). Lebih rinci parameter fisik dan kimia pada sampel sedimen disajikan pada Tabel 2.

Perbedaan signifikan konsentrasi senyawa hidrokarbon aromatik juga terjadi pada akar mangrove. Konsentrasi senyawa pada akar

mangrove jauh lebih tinggi bila dibandingkan dengan konsentrasi senyawa hidrokarbon aromatik pada sedimen. Konsentrasi senyawa hidrokarbon aromatik yang tinggi dikarenakan akar pohon menyerap dan menyimpan sebagian besar senyawa aromatik hidrokarbon. Bakhtiari (2009) menyatakan bahwa tumbuhan dapat menyerap PAHs dari sedimen yang terkontaminasi melalui akar kemudian ditransfer ke tunas dan daun. Jumlah penyerapan bervariasi tergantung dari berbagai faktor seperti jenis tanaman (*species*), populasi mikroba (Bouloubassi dkk., 2001; Okuda dkk., 2002) dan lingkungannya (Cunningham. 1996) Lebih jauh Li dkk., (2004) menemukan bahwa kandungan total PAH di daun sebesar 3697 mg/g, akar sebesar 2561 mg/g, dan sedimen 2702 mg/g.

Konsentrasi senyawa hidrokarbon aromatik yang tinggi pada akar dan sedimen dapat menyebabkan kematian pada mangrove. Menurut Moreira dkk., (2013) bahwa PAH yang larut pada konsentrasi 0,1 - 0,5 ppm dapat menyebabkan keracunan pada makhluk hidup. Sedangkan PAH dalam kadar rendah dapat menurunkan laju pertumbuhan, perkembangan makhluk yang hidup di perairan seperti; ikan, hewan berkulit keras dan moluska. Selain itu hidrokarbon minyak bumi yang terserap ke dalam tubuh biota menimbulkan bau yang menyengat dan memerlukan waktu tertentu untuk dapat hilang (Marsaoli. 2004).

Alternatif Penanganan Hidrokarbon Aromatik

Teknologi fitoremediasi merupakan upaya baru untuk perbaikan lingkungan seperti substrat, tanah, air, dan udara yang terkontaminasi senyawa pencemar dengan menggunakan penanaman pohon yang ada di seluruh dunia (Licht dkk., 2001; Aronson dkk., 1994; Whestphal dkk., 2001). Fitoremediasi bergantung pada tumbuhan hijau sebagai saran untuk mengurangi bahkan menghilangkan polutan yang terkandung dalam

Tabel 2. Parameter fisika-kimia pada sampel sedimen.

No	Sampel	pH	Total organik karbon (mg/g)	Ukuran partikel	Persentase (%)	Tekstur
Stasiun 1	Sedimen 30 cm	7,3	7,9	pasir 2 mm - 50 μ	20 %	Lempung liat berdebu (<i>sandy silt loam</i>)
				debu 50 - 2 μ	48 %	
				liat <2 μ	32 %	
	Sedimen 60 cm		5,8	pasir 2 mm - 50 μ	39 %	Lempung (<i>loam</i>)
				debu 50 - 2 μ	39 %	
Stasiun 2	Sedimen 30 cm	7,3	7,2	liat <2 μ	22 %	Lempung berliat (<i>clay loam</i>)
				pasir 2 mm - 50 μ	21 %	
				debu 50 - 2 μ	52 %	
	Sedimen 60 cm		6,8	liat <2 μ	27 %	Lempung (<i>loam</i>)
				pasir 2 mm - 50 μ	39 %	
				debu 50 - 2 μ	42 %	
				liat <2 μ	19 %	

Sumber : Data primer, 2016.

substrat serta memanfaatkan pertumbuhan dan transformasinya dalam mengolah kontaminan menjadi tidak berbahaya (Mohanty dkk., 2010). Mangrove sebagai tumbuhan yang ada di pesisir merupakan ekosistem penting dan memiliki fungsi ekologis yang besar bagi negara-negara tropis. Lingkungan tersebut mengembalikan biomassa dan nutrisi ke laut dan berfungsi sebagai daerah asuhan bagi sebagian organisme laut. Ekosistem ini juga penting bagi studi geokimia karena selain kepentingan ekonomi mangrove dan perlindungan pantai terhadap erosi, serta sebagian besar nutrisi menumpuk di daerah-daerah ini (Alongi. 2002; Lee dkk., 2005; Duke dkk., 2007; Santos dkk., 2011). Namun, menurut Indeks Sensitivitas Lingkungan (ISL) untuk daerah pesisir bahwa habitat mangrove diklasifikasikan sebagai habitat tropis yang sensitif terhadap tumpahan minyak akibat kesulitan dalam melakukan penyesuaian diri secara cepat terhadap lingkungan (Anonim, 2010^b).

Kemajuan di bidang bioteknologi telah mendorong beberapa peneliti untuk menerapkan fitoremediasi, yang dapat menjadi alternatif yang berpotensi lebih efektif untuk tanah dan sedimen terkontaminasi dengan TPH dan lebih menguntungkan bila dibandingkan dengan metode remediasi tradisional (Salt dkk., 1998; Gunther dkk., 1996; Susarla dkk., 2002). Fitoremediasi didefinisikan dengan baik dalam beberapa literatur sebagai metode yang menggunakan tanaman untuk menstabilkan, mengekstraksi, menumpuk, menurunkan atau mengubah kontaminan dalam sedimen, tanah atau lingkungan perairan. Tanaman dimanfaatkan proses fotodegradasi, fitostabilisasi atau fitoekstraksi dari kontaminan (Gunther dkk., 1996). Dalam kasus sedimen terkontaminasi dengan minyak, efek fitoremediasi didasarkan terutama pada rizosfir mikroorganisme yang merangsang degradasi, atau dengan yang lebih dikenal sebagai proses rizodegradasi (Alkorta dan Garbisu, 2001; Santos dkk., 2011). Untuk keberhasilan maksimal dalam pelaksanaan fitoremediasi, adalah penting untuk menggunakan tanaman endemik lokal bagi sedimen tercemar yang membutuhkan pengolahan; tanaman ini menawarkan keuntungan yang signifikan karena tanaman tersebut telah menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungan lokal dan mempunyai pola interaksi terbaik dengan mikroorganisme di lingkungan tersebut (Anderson dkk., 1993).

Peranan ekosistem mangrove sebagai agen fitoremediasi sekaligus bioremediasi memiliki potensi besar dalam penerapannya terutama pada sedimen yang tercemar. Hal ini ditunjukkan pada percobaan terhadap mangrove anakan yang berusia 3 bulan dari spesies *Avicennia schaueriana* mampu

Tabel 3. Rata-rata konsentrasi dari TPH dan standar deviasi

Hari	TPH	
	Fitoremediasi	Bioremediasi
1	33215,2 ± 2594,1	33215,2 ± 2594,1
7	29494,3 ± 4035,9	24351,3 ± 4363,1
15	25253,3 ± 2747,4	20098,7 ± 7261,2
30	18396,8 ± 4072,0	19437,7 ± 2110,4
60	16041,2 ± 2031,3	18698,5 ± 3888,0
90	4223,0 ± 826,1	9225,1 ± 1616,7

Sumber : Moreira dkk., 2013

mengurangi kontaminan selama 90 hari (3 bulan) dari sedimen yang mengandung TPH (Tabel 3). Selain itu jenis mangrove ini mampu menghilangkan semua fraksi dari TPH termasuk fraksi 3A (rantai C16-23), 3B (rantai C23-34) dan 4 (rantai C34-40) yang merupakan kontaminan TPH berbahaya dalam sedimen. Selain itu mangrove mengakumulasi bahan pencemar dalam tubuhnya sehingga berdampak pada peningkatan pertumbuhan tanaman sebesar 18 cm dan ukuran akar menjadi 3 cm lebih besar. Kondisi ini diindikasikan bahwa mangrove memiliki kemampuan sebagai fitostimulasi (simbiosis) dengan mikroorganisme atau dengan kata lain terjadi proses rizodegradasi. Selain itu penting untuk dipertimbangkan proses degradasi dan transformasi senyawa pencemar yang terakumulasi dalam tubuh mangrove yang diperoleh dari sedimen yang terkontaminasi TPH. Hal lainnya yang perlu ditelaah lebih lanjut adalah apa yang menyebabkan meningkatnya jumlah bakteri yang hidup dalam rhizosfer pada hari ke 30 sampai 90 (Moreira dkk. 2013).

Teknologi fitoremediasi menjadi pilihan utama pada ekosistem mangrove di Binalatung mengingat lokasi penelitian yang secara geografis langsung terhubung dengan Laut Sulawesi sehingga membutuhkan tegakan mangrove dalam mereduksi gelombang pasang dan biaya operasional terjangkau. Pada pelaksanaannya kebutuhan biaya operasional diperoleh dari kegiatan pembibitan dan penanaman mangrove. Upaya ini bertujuan agar masyarakat dapat belajar dengan alam bagaimana mendapatkan bibit yang baik, dan secara langsung dapat memahami pentingnya keberadaan ekosistem ini sehingga memiliki dan menjaga lingkungan dapat terlaksana dengan baik. Selanjutnya dalam pelaksanaan pembangunan konstruksi bangunan ini diupayakan untuk meminimalisasi setiap kebutuhan (biaya) sehingga dengan begitu warga diharapkan akan sangat terbiasa dengan melakukan kegiatan yang dianggap bermanfaat tanpa harus menunggu bantuan yang diberikan oleh pemerintah dan secara tidak langsung warga diajak untuk bekerja mandiri (Kusmana. 2005).

Kegiatan pembibitan dan penanaman mangrove dilakukan mengingat bahwa kemampuan individu mangrove di alam dalam menyediakan semai tergolong rendah, pada jenis *Avicennia* sp. (6 ind/m²) dan *Sonneratia* sp. (6-8 ind/m²) (Rachmawani dkk., 2016) ketersediaan bibit yang kurang tersebut, sehingga dibutuhkan kegiatan pembibitan dengan jumlah bibit dibutuhkan 3000-4000 bibit per hektar. Selanjutnya dalam perencanaan kegiatan pembibitan dan penanaman mangrove di Binalatung digunakan asumsi harga penggunaan barang tidak tetap dan tetap yang didasarkan pada harga pasar yang berlaku saat penelitian, sumber modal akan diperoleh dari bantuan pemerintah setempat, serta swadaya masyarakat. Komponen biaya yang dibutuhkan secara rinci tersajikan dalam Tabel 4.

Biaya pembibitan mangrove pada Tabel 4 terdiri dari biaya pembuatan bedengan sebesar Rp 25.000.000 serta pemeliharaannya sebesar Rp 15.000.000 sehingga kebutuhan biaya total sebesar Rp 40.000.000. Konstruksi bedengan dibuat bertingkat dengan tujuan untuk menghindari pemangsa bibit mangrove oleh binatang pemangsa. Bedengan dibuat dari bambu atau kayu-kayu mati yang tersedia disekitar lokasi dan bahan penutup bedengan digunakan daun kelapa yang dimiliki warga. Kelebihan dari bedengan ini adalah konstruksinya yang kuat, bagus dan mampu bertahan selama kurang lebih 4 tahun selain itu dengan pemeliharaan bibit yang baik (Kusmana dkk., 2014) dan benar terbukti anakan mangrove 90 % bisa tumbuh dengan sempurna dalam bedengan (Priyono. 2010).

Biaya penanaman mangrove pada Tabel 4 terdiri atas biaya penanaman sebesar Rp 18.500.000 serta pemeliharaannya sebesar Rp 18.000.000 sehingga kebutuhan biaya total sebesar Rp 36.500.000. Untuk mendapatkan hasil baik dalam proses penanaman dibutuhkan Alat Penahan Ombak (APO). Fungsi APO sebagai peredam ombak harus memenuhi syarat meliputi kemampuan meredam gelombang, sehingga tinggi gelombang yang ditransmisikan menuju tanaman mangrove tidak melebihi tinggi yang diisyaratkan oleh tanaman mangrove untuk dapat tumbuh tanpa mengalami gangguan berarti, struktur bangunan harus memenuhi syarat stabilitas, tidak tercabut, tidak rubuh atau patah oleh gaya gelombang, umur bangunan harus dapat bertahan hingga perakaran mangrove cukup kuat untuk menahan gelombang. Fungsi APO sebagai penangkap sedimen suspensi harus memenuhi syarat seperti bentuk bangunan harus efektif menangkap sedimen dengan memanfaatkan fenomena difraksi gelombang pada dinding bangunan, dan porositas dinding bangunan

Tabel 4. Komponen biaya pembibitan dan penanaman.

No	Uraian	Biaya (Rp.)
1	Pembibitan	
	a. Biaya pembuatan bedeng	25.000.000
	b. Biaya pemeliharaan	15.000.000
2	Penanaman	
	a. Biaya penanaman	18.500.000
	b. Biaya pemeliharaan	18.000.000
3	Biaya lain-lain	10.000.000
	Total biaya	86.500.000

Sumber : Data primer, 2016

harus mampu menurunkan kecepatan arus di belakangnya, sehingga memberi peluang terjadinya sedimentsi untuk substrat dasar. Selanjutnya hal lain yang perlu diperhatikan adalah pola jarak tanam yang dibutuhkan mangrove yakni jarak tanam jarang (1 x 1 m) karena jarak ini memberikan pertumbuhan diameter dan tinggi terbesar seiring dengan bertambahnya umur tanam (Yanuartanti dkk., 2015).

Biaya lain-lain sebesar Rp 10.000.000 dialokasikannya untuk kebutuhan tidak terduga yang terjadi pada saat kegiatan pembibitan dan penanaman sedang berlangsung, namun jika hal yang diduga tidak terjadi pada saat kegiatan berlangsung maka biaya akan dialokasi untuk periode berikutnya.

KESIMPULAN

Kandungan senyawa hidrokarbon aromatik pada mangrove terdiri atas; stirena 2,4,6-trimetil, xilena, stirena, fenantrena dan naftalena 2-benzil dengan nilai konsentrasi yang cukup tinggi dan diindikasikan sebagai penyebab terjadinya kematian massal mangrove di kawasan Binalatung. Alternatif penanganan terhadap kandungan hidrokarbon aromatik tersebut adalah dengan metode fitoremediasi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih atas bantuan beasiswa BPPDN DIKTI, Bapak Dr. Ir. Tri Prartono, M.Sc Departemen Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor, dan Bapak Jaswanto PUSLABFOR POLRI Jakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2010^a. *Data Potensi dan Produksi Minyak dan Gas Bumi Indonesia*. Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral (KESDM), Jakarta.
- Anonim, 2010^b. *Characteristic Coastal Habitats : Choosing Spill Responses Alternatives*. Office of Response and Restoration, National Ocean and Atmospheric Administration. Seattle. 85pp

- Anonim, 1993. *Cleaning-up The Nation's Waste Sites : Market and Technology Trends*. United States Environmental Protection Agency, Cincinnati.
- Achyani, R., 2011. *Karakteristik Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) di Air dan Sedimen serta Akumulasinya pada Tubuh Ikan Nomei (Harpodon nehereus) di Perairan Tarakan*. Tesis. Institut Pertanian Bogor. 95 hlm.
- Ahrens, M.J., dan Depree, C.V., 2004. Inhomogeneous Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Different Size and Density Fractions of Contaminated Sediment from Auckland Harbour. New Zealand: An Opportunity for Mitigation. *Marine Pollution Bulletin* 48:341-350.
- Alkorta, I., dan Garbisu, C., 2001. Phytoremediation of Organic Contaminants in Soils. *Bioresearch Technology*, 79:273-276.
- Alongi, D.M., 2002. Present State and Future of The World's Mangroves Forests. *Environmental Conservation* 29. pp 331-349.
- Amin, B., 2002. Distribusi Logam Berat Pb, Cu, dan Zn pada Sedimen di Perairan Telaga Tujuh Karimun Kepulauan Riau. *Jurnal Natur Indonesia*, 5(1):9-16.
- Anderson, T.A., Guthrie, E.A., dan Walton, B.T., 1993. Bioremediation in The Rhizosphere. *Environ. Sci. & Techn.*, 27:2630-2636.
- Aronsson, P., dan Perttu, K.L., 1994. *Willow Vegetative Filters For Municipal Wastewaters And Sludges*. Abiologica L Purification System. Report 50 Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden. 230pp.
- Arsyad, S., 1989. *Konservasi Tanah dan Air*, Penerbit IPB, Bogor.
- Bakhtiari, A.R., Zakaria M.P., Yaziz M.I., Lajis M.N.Hj., Bi, X., dan Rahime, M.C.A. 2009. Vertical Distribution and Source Identification of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Anoxic Sediment Cores of Chini Lake, Malaysia : Perylene as Indicator of Land Plant-derived Hydrocarbons. *Applied Geochemistry*, 24:1777-1787.
- Bouloubassi, I., Fillaux, J., dan Saliot, A., 2001. Hydrocarbon in Surface Sediments from The Changjiang (Yangtze River) Estuary, East China Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 42:1335-1346.
- Connel, D.W., dan Miller, G.J., 1995. *Kimia dan Toksikologi Pencemaran*. Universitas Indonesia Press. Jakarta.
- Cunningham, S.D. 1996. *The Phytoremediation of Soils Contaminated with Organic Pollutants : Problems and Promise*. International Phytoremediation Conference. May 8-10, 1996. Arlington, VA.
- Dsikowitzky, L., Nordhaus, I., Jennerjahn, T.C., Khricheva, P., Sivatharshan, Y., Yuwono, E., dan Schwarzbauer, J., 2011. Anthropogenic Organic Contaminants in Water, Sediments, and Benthic Organism. *Marine Pollution Bulletin*, 62:851-862.
- Duke, N.C., Meynecke, J.O., Dittmann, S., Ellison, A.M., Anger, K., dan Berguer, U., 2007. A World Without Mangroves?. *Science*, 317:41-42.
- Ghosh, U., Zimmerman, J.R., dan Luthy, R.G., 2003. PCB and PAH Speciation Among Particle Type in Contaminated Harbor Sediments and Effect on PAH Bioavailability. *Environ. Sci. & Techn.*, 37:2209-2217.
- Gunther, T., Dornberger, U., dan Fritsche, W., 1996. Effects of Ryegrass on Biodegradation of Hydrocarbons in Soil. *Chemosphere*, 33:203-215.
- Hardjowigeno, S., 1992. *Ilmu Tanah*. Mediatama Sarana Perkasa, Jakarta.
- Hoff, R., Hensel, P., Proffitt, E., Delgado, P., Shigenaka, G., Yender, R., dan Mearns. A., 2002. *Oil Spills in mangroves. Planning & Response Considerations*. Darby, PA: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). EUA. Technical Report.
- Indawan, E., Kgs. Ahmadi, dan RAD. Novitawati. 2012. Komposisi Mangrove Pada Lahan Tercemar BTEX dan Logam Berat. *Jurnal Natur Indonesia*, 14(3):212-218.
- Kusmana, C., Istomo, dan Purwanegara, T., 2014. Teknik Guludan Sebagai Solusi Metode Penanaman Mangrove Pada Lahan Yang Tergenang Air. Dalam. *Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan*, 1(3):165-171.
- Lee, J.U., Kim, S.M., Kim, K.W., dan Kim, I.S., 2005. Microbial Removal of Uranium in Uranium-Bearing Black Shale. *Chemosphere*, 59:147-154.
- Li, F., Zeng, X., Yang, J., Zhou, K., Zan, Q., Lei, A., dan Nora, N., 2014. Contaminant of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Surface Sediment and Plants of Mangrove Swamp in Shenzhen, China. *Marine Pollution Bulletin*, 85:590-596.
- Licht, L., Aitchison, E., Schnabel, W., English, M., dan Kaempf, M., 2001. Landfill Capping With Woodland Ecosystems. Practice Periodical of Hazardous. *Toxic and Radioactive Waste Management*, 5(4):175-84.

- Marsaoli, M., 2004. Kandungan Bahan Organik, N-Alkana, Aromatik dan Total Hidrokarbon dalam Sedimen di Perairan Raha Kabupaten Muna Sulawesi Tenggara. *Makara Sains*, 3:116-122.
- Mastaller, M., 1996. Destruction of Mangrove Wetlands-Causes and Consequensces. *Natural Resources and Development*, 43-44: 37-57.
- McGrath, T.E., Wooten, J.B., Geoffrey, C.W., dan Hajaligol, M.R., 2007. Formation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Tobacco: The Link Between Low Temperature Residual Solid (Char) and PAH Formation. *Food and Chemical Toxicology*, 45(6):1039–1050.
- Mohammed, A.B., Al-Tae, M.M.S., dan Hassan, F.M., 2009. The Study of Some PAHs Compounds in Euphrates River Sediment from Al-Hindiya Barrageto Al- Kifil City – Iraq. *CSASC*, (4):216-230.
- Moreira, I.T.A., Oliveira, O.M.C., Triguís, J.A., Queiroz, F.S., Ferreira, S.L.C., Martins, C.M.S., Silva, A.C.M., dan Falcao, A.B., 2013. Phytoremediation in Mangrove Sediments Impacted by Persistent Total Petroleum Hydrocarbons (TPH's) Using *Avicennia scaueriana*. *Marine Pollution Bulletin*, 67:130-136.
- Mohanty, M., Dhal, N.K., Patra, P., Das, B., dan Reddy. P.S.R., 2010. Phytoremediation : A Novel Approach for Utilization of Iron-ore Wastes. *Rev. Environ. Contam. & Toxycol.*, 206:29-44.
- Muri, G., dan Wakeham, S.G., 2009. Source Assessment and Sedimentary Record of Pyrolytic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Lake Bled (NW Slovenia). *Acta Chim. Slov.* 56:315-321.
- Neff, J.M., 1979. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in The Aquatic Environment. London, Applied Science Publishers Ltd.
- Priyono, A., 2010. *Panduan Praktis Teknik Rehabilitasi Mangrove di Kawasan Pesisir Indonesia*. Kesemat, Semarang.
- Qiu, Y.W., Zhang, G., Liu, G.Q., Guo, L.L., Li, X.D., dan Wai, O., 2009. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in The Water Column and Sediment Core of Deep Bay, South China. *Estuarine, Coastal & Shelf Science*, 83:60–66.
- Rachmawani, D., Yulianda, F., dan Yulianto, G., 2010. Kajian Pengelolaan Ekosistem Mangrove Secara Berkelanjutan Kota Tarakan Kalimantan Timur (Studi Kasus Desa Binalatung Kecamatan Tarakan Timur). *Jurnal Aquarine*, 1(2):13-21.
- Rachmawani, D., Yulianda, F., Kusmana, C., Boer, M., dan Parwati, E., 2016. Study of Mangroves Ecosystem Management at Binalatung in Tarakan City of North Kalimantan. *Int. J. Sci.*, 26(3):221-234.
- Okuda, T., Kumata, H., Naraoka, H., Ishiwatari, R., dan Takada, H., 2002. Vertical Distributions and $\delta^{13}\text{C}$ Isotopic Compositions of PAHs in Chidorigafuchi Moat sediment, Japan. *Organic Geochemistry*, 7:843-848.
- Opuene, K., Agbozu, I. E., dan Ekeh, L. E. 2007. Identification of Perylene in Sediments: Occurance and Diagenetic Evolution. *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 4:457-462
- Salt, D.E., Smith, R.D., dan Raskin, I., 1998. Phytoremediation. *Annual Review of Plant Physiology*, 49:643–668.
- Santos, H.F., Carmo, F.L., Paes, J.E.S., Rosado, A.S., dan Peixoto, R.S., 2011. Bioremediation of Mangroves Impacted by Petroleum. *Water, Air, and Soil Pollution*, 216:329–350.
- Susarla, S., Medina, V.F., dan McCutcheon, S.C., 2002. Phytoremediation: An Ecological Solution to Organic Chemical Contamination. *Ecolog. Eng.*, 18:647–658.
- Westphal, L.M., dan Isebrands, J.G., 2001. *Phytoremediation of Chicago's Brownfields-Consideration of Ecological Approaches and Social Issues*. Proceedings Brownfields Conference, Chicago, IL, USA, BB-11-02.
- Witt, H., 1995. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Water and Sediment of The Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 4(12):237-248.
- Yanuartanti, I.W., Kusmana, C., dan Ismail, A.. Kelayakan Rehabilitasi Mangrove Dengan Teknik Guludan Dalam Perspektif Perdagangan Karbon di Kawasan Hijau Lindung Muara Angke, Provinsi DKI Jakarta. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 5(2):180-186.
- Yu, Y., Jian, X., Ping, W., Hongwen, S., dan Shugui, D., 2007. Sediment-porewater Partition of (PAHs) from Lanzhou Reach of Yellow River, China. *J. Hazard. Mat.*, 165:494-500
- Zhao, H.T., Li, X.Y., Wang, X.M., dan Tian, D., 2010. Grain Size Distribution of Road-Deposited Sediment and Its Contribution to Heavy Metal Pollution in Urban Runoff in Beijing, China. *J. Hazard. Mat.*, 183:201-210.